

Troubles du calcul et dyscalculies chez l'enfant

Anne VAN HOUT

Claire MELJAC

Jean-Paul FISCHER

 **MASSON**

6. Le transcodage chez l'enfant

M.-P. NOËL

Cet article décrit brièvement le développement des capacités de transcodage numérique chez l'enfant, en particulier, la lecture en langue naturelle, à voix haute, de nombres écrits en chiffres arabes et leur écriture sous dictée en langue naturelle. Cet apprentissage s'étale *grosso modo* entre 5 et 9 ans. Dans un premier temps, nous présentons des données relatives aux performances d'enfants tout-venant dans ces deux tâches; ensuite, nous tenterons de comprendre les mécanismes qui, chez l'enfant, sous-tendent le développement du transcodage. Enfin, nous illustrerons les problèmes de transcodage que présentent certains enfants ou adolescents en difficulté d'apprentissage.

INTRODUCTION

Toutes les classifications (ou presque), proposées pour rendre compte des différents types de dyscalculies (Kosc, 1974; Badian, 1983; Temple, 1992, en particulier), distinguent les difficultés concernant la réalisation des opérations arithmétiques et celles relatives à la maîtrise des systèmes numériques. Ainsi, chez Badian (1983), l'anarithmie se réfère au premier type et est opposée à l'alexie ou l'agraphie des nombres (soit, une difficulté pour *lire* — *versus écrire* les nombres). De la même manière, chez Temple (1992), la dyscalculie des opérations arithmétiques est opposée à la dyscalculie du traitement numérique.

C'est à ce second type de trouble que notre article s'intéresse. Outre la maîtrise des opérations arithmétiques élémentaires, l'enfant doit, en effet, s'approprier les codes numériques. Le premier code avec lequel il se familiarise est le code verbal oral, présent dans la langue naturelle; c'est, entre autres, le problème de l'acquisition de la chaîne numérale verbale. Plus tard, l'enfant devra aussi s'initier aux représentations numérales écrites: les nombres écrits en langue naturelle («vingt-cinq») et les nombres écrits en chiffres arabes («25»). D'autres codes numériques, plus rarement

utilisés, comme le code numérique romain («XXV»), devront également être maîtrisés. Bien évidemment, ces savoirs ne peuvent rester cloisonnés. L'enfant devra donc être capable de passer d'un système à un autre : lire à voix haute des nombres écrits en chiffres arabes, écrire, non seulement en lettres mais également en chiffres, des nombres dictés en langue naturelle... Ces processus de traduction d'un nombre présenté dans un code «source» à un code «de sortie» font référence aux mécanismes de «transcodage numérique».

DÉVELOPPEMENT DU TRANSCODAGE : quelques repères

Tout transcodage suppose la maîtrise du code source et du code de sortie. Chez l'enfant, les premiers transcodages visent le passage du code arabe au code verbal oral et *vice versa*.

Le système de numération arabe se compose de 10 chiffres (de 0 à 9, soit les primitives lexicales) qui peuvent se combiner les uns avec les autres pour former la multitude des nombres. La quantité représentée par un chiffre varie selon sa position dans le nombre. Ainsi, «2» peut faire référence à deux (dans 42), à vingt (dans 25), à deux cents (dans 245), etc. Il s'agit en fait d'un système de numération positionnel en base 10 : la valeur associée à un chiffre est déterminée par sa position (calculée à partir de la droite) dans la séquence. À chaque position en se décalant vers la gauche, le chiffre augmente sa valeur d'une puissance de 10.

Le système verbal (écrit ou oral) se compose, lui aussi, d'une série de primitives lexicales. Ce sont les mots qui, isolément, font référence à une quantité. Il s'agit plus précisément des unités (de «un» à «neuf»), des particuliers (de «onze» à «seize»), des dizaines (de «dix» à «nonante»), des multiplicateurs («cent», «mille», etc.) et enfin «zéro». Pour représenter l'infini des nombres, ces primitives se combinent en structures complexes. Contrairement au code arabe, le code verbal n'autorise pas toutes les associations (par exemple, «dix-huit» est correct mais «dix-deux» ne l'est pas). Des règles décrivent la syntaxe du système : il s'agit de combinaisons qui mettent les primitives dans des rapports additifs (exemple : «cent deux» = «cent» + «deux») ou multiplicatifs (exemple : «deux cents» = «deux» × «cent») (cf. Power et Longuet-Higgins, 1978; ou Hurford, 1987 pour une description détaillée de ces règles syntaxiques).

Chez l'enfant, le code verbal oral fait ses premières apparitions de manière très précoce. En effet, selon Gelman et Gallistel (1978), les petits enfants de 2 ans et demi sauraient déjà que les noms de nombres constituent une catégorie particulière de mots qui peut être utilisée de manière spécifique lorsqu'on leur demande de compter une collection d'objets. Cependant, il faudra attendre plusieurs années avant que ce code ne soit entièrement maîtrisé par l'enfant. Ainsi, ce n'est que vers 6 ans que les enfants acquièrent la suite des nombres de 1 à 20 (Fuson, Richards et Briars, 1982). Ils doivent ensuite apprendre les règles qui permettent de constituer les nombres suivants.

Dans une étude récente, nous avons demandé à des enfants normaux, issus d'un échantillon représentatif (269 enfants belges francophones âgés de 3 à 5 ans et demi, pour moitié des garçons), de juger si des mots, présentés oralement, étaient ou non des nombres. Quatorze nombres étaient présentés (4 noms d'unité, 4 noms de dizaine, 4 noms de particuliers, «cent» et «mille») et 16 non-nombres (par exemple, dimanche, trapèze ou deuzante). À 3 ans et 3 ans et demi, les enfants ne dépassent pas

le niveau du hasard. À 4 ans et demi, les enfants jugent correctement 70 % des items et acceptent correctement 89 % des noms d'unité. À 5 ans, la moyenne de réussite dépasse les 80 %. Toutefois, un score plafond n'est pas encore atteint à 5 ans et demi. Nos résultats (tableau 6-I) seraient donc un peu moins optimistes que ceux rapportés par Gelman et Gallistel (1978).

Tableau 6-I. — *Décision orale*

Âge	3 ans	3,5 ans	4 ans	4,5 ans	5 ans	5,5 ans
Nombre d'enfants	43	45	43	47	45	46
Unités (4)	74	66	90	89	98	99
Dizaines (4)	64	58	66	65	66	82
Particuliers (4)	66	60	80	78	87	90
Cent	70	53	67	72	66	78
Mille	58	51	58	64	73	78
Total nombres	67	60	76	76	82	89
Total non-nombres	35	47	52	64	85	85
% réussite	50	53	63	70	83	87

La numération écrite n'entre dans l'univers de l'enfant que bien après les premiers mots-nombres. Sinclair, Mello et Siegrist (1988) et Hughes (1986) se sont intéressés aux productions écrites spontanées de l'enfant avant tout apprentissage des notations numériques. Ils ont montré que l'enfant développe une progression dans la symbolisation de ses notations et qu'il passe de représentations idiosyncrasiques et pictographiques à des productions symboliques capturant progressivement la correspondance terme à terme pour aboutir, enfin, à la production de chiffres.

Chez des enfants de 3 à 5 ans (l'échantillon d'enfants belges francophones cité ci-dessus), nous avons présenté une tâche dans laquelle des signes écrits devaient être jugés comme appartenant ou non à la catégorie des chiffres. Les items étaient constitués de 9 chiffres (de 1 à 9), 5 lettres et 5 symboles (par exemple, \$). Les résultats obtenus (tableau 6-II) indiquent qu'à 3 ans, l'enfant répond au hasard. À 4 ans et demi, ses performances sont proches des 70 % : en effet, 89 % des chiffres sont correctement reconnus mais ils jugent toujours au hasard les lettres et les symboles. À 5 ans enfin, les chiffres sont pratiquement tous reconnus correctement (95 %) et les autres symboles sont, pour la plupart (74 %), rejetés. Si on analyse la capacité de l'enfant à identifier les chiffres, les performances sont plus basses. En effet, à 5 ans, par exemple, l'enfant reconnaît dans 95 % des cas que le signe écrit est un chiffre mais il n'identifie que 69 % d'entre eux.

Tableau 6-II. — *Décision écrite*

Âge	3 ans	3,5 ans	4 ans	4,5 ans	5 ans	5,5 ans
Nombre d'enfants	40	44	43	48	46	46
% de chiffres acceptés	80	76	86	89	95	97
% de chiffres identifiés	13	14	27	36	69	67
% de non-chiffres rejetés	36	44	43	50	73	73
% de réussite globale	57	59	63	69	84	85

Ces données indiquent à quel moment les enfants sont capables de détecter dans l'ensemble des mots présentés oralement ou des symboles écrits, ceux qui représentent des nombres.

Nous avons ensuite examiné dans quelle mesure les enfants étaient capables de transformer un nombre présenté dans un code source en un nombre représentant la même quantité mais exprimé dans un autre code, soit les capacités de transcodage de l'enfant. En particulier, nous nous sommes intéressés à la lecture à voix haute, en langue naturelle, de nombres écrits en chiffres arabes et à l'écriture en chiffres arabes de nombres dictés en langue naturelle.

Les tâches de lecture et d'écriture des nombres arabes ont été présentées à des enfants de 6 à 8 ans (sans difficultés d'apprentissage, échantillon représentatif des petits belges francophones, testés en février). Le tableau 6-III donne les pourcentages moyens de réussite dans ces deux tâches selon la structure des stimuli utilisés :

- à 6 ans (soit chez des enfants de première primaire ou de CP), les unités simples sont maîtrisées par la quasi-totalité des enfants et ce, aussi bien en lecture qu'en écriture sous dictée ;
- à 7 ans, ce sont les structures à deux chiffres (particulier, dizaine, dizaine-unité) qui peuvent être lues ou écrites par presque tous les enfants ; les structures à trois chiffres sont également en voie d'acquisition (77 % de transcodages corrects) ;

Tableau 6-III.— *Pourcentage de réussite dans les tâches de lecture à voix haute de nombres arabes et écriture de nombres arabes sous dictée (nombre d'items)*

Structure des items	6 ans (n = 50, 28 filles)		7 ans (n = 51, 28 filles)		8 ans (n = 50, 29 filles)	
	lecture	écriture	lecture	écriture	lecture	écriture
U	99 (3)	96 (3)	100 (1)	100 (1)		
1 chiffre	99	96	100	100		
P	61 (3)	62 (3)	100 (1)	96 (1)		
D	49 (3)	41 (3)	96 (1)	96 (1)		
DU	47 (3)	50 (3)	95 (3)	95 (3)		
2 chiffres	52	51	96	95		
CU			83 (3)	86 (3)	100 (1)	94 (1)
CP			80 (3)	76 (3)	96 (1)	88 (1)
CD			80 (3)	78 (3)	96 (1)	98 (1)
UC			73 (3)	84 (3)	100 (1)	98 (1)
UCDU			69 (3)	67 (3)	98 (3)	93 (3)
3 chiffres			77	78	98	94
MU					91 (3)	92 (3)
MP					95 (3)	89 (3)
MD					92 (3)	89 (3)
MUC					97 (3)	94 (3)
UM					98 (3)	99 (3)
UMUCDU					94 (3)	89 (3)
4 chiffres					95	92
DM					85 (3)	86 (3)
PM					91 (3)	83 (3)
DUMUCDU					73 (3)	81 (3)
5 chiffres					83	83

Avec U pour Unités, P pour Particulier, D pour Dizaine, C pour Cent et M pour Mille.
Exemple : DUMUCDU = vingt-huit mille cinq cent trente-deux.

— à 8 ans enfin, les écoliers peuvent lire et écrire pratiquement tous les nombres de un à quatre chiffres; quelques erreurs apparaissent encore sur les nombres plus grands, mais on peut dire que les processus de transcodage sont quasi en place à cet âge.

La question se pose alors de savoir comment, entre 5 et 9 ans, se met en place progressivement cette capacité de transcodage.

SPÉCIFICITÉ DES PROCESSUS DE TRANSCODAGE

Avant toute chose, la question de la spécificité de ces mécanismes doit être abordée. En effet, si lire ou écrire en langue naturelle des nombres écrits en chiffres n'est qu'un simple cas particulier des processus généraux de lecture et d'écriture, il suffit de se référer à l'évolution de ces mécanismes plus globaux pour comprendre la mise en place du transcodage. Cette question paraît d'autant plus pertinente que les apprentissages de lecture et d'écriture des nombres et des mots, ont lieu quasi en même temps et que l'on observe une association fréquente entre la dyslexie et la dyscalculie. Une recherche de Seron, Noël et Van der Elst (1997) a mesuré, chez des enfants de 6 ans, une corrélation non significative entre la capacité à lire des nombres écrits en chiffres arabes *versus*, des mots.

Des résultats similaires avaient été obtenus par Seron, Van Lil et Noël (1995) : ceux-ci avaient suivi un groupe d'écoliers de 7 ans pendant une période d'un an (trois moments d'évaluation) et ont montré que les deux activités de lecture (nombres écrits en chiffres et mots du langage courant) progressaient suivant des rythmes différents. Ces deux résultats suggèrent donc l'existence de mécanismes spécifiques pour la lecture des nombres écrits en chiffres.

Dans la suite de ce texte, nous exposerons les travaux qui ont décrit la manière dont le transcodage des nombres se met en place chez les enfants tout-venant. Nous aborderons les études relatives à l'écriture en chiffres arabes de nombres dictés en langue naturelle, puis celles relatives au transcodage inverse, soit, la lecture en langue naturelle de nombres écrits en chiffres arabes.

DICTÉE EN LANGUE NATURELLE — ÉCRITURE EN CHIFFRES

Une des premières études consacrée à l'écriture en chiffres arabes chez les enfants a été menée par Power et Dal Martello (1990). Ces auteurs ont testé des enfants italiens de 7 ans et montrent que les erreurs apparaissent surtout sur les nombres à trois et quatre chiffres, les nombres plus petits étant correctement écrits. Dans les erreurs de transcodage, on distingue généralement les erreurs lexicales et les erreurs syntaxiques :

- les erreurs lexicales touchent une primitive lexicale du nombre (un chiffre ou un mot), sans modifier de manière radicale la grandeur du nombre (par exemple : /vingt-huit/ écrit 27, /cent quarante/ écrit 104, /trois cent neuf/ écrit 209);
- les erreurs syntaxiques, touchent les relations entre les primitives lexicales et entraînent une modification du gabarit du nombre (par exemple : /vingt-sept/ écrit 207, /trois cents/ écrit 3100...).

Si on analyse les erreurs produites par ces enfants de 7 ans sur les nombres de trois ou quatre chiffres, on constate qu'elles sont majoritairement (87 %) de nature syntaxique et qu'elles correspondent, le plus souvent, à l'insertion de zéros supplémentaires dans le nombre (par exemple : /trois cent soixante-cinq/ est écrit 30065 ou 3065). Pour rendre compte de ces erreurs, Power et Dal Martello proposent un modèle de transcodage qui fait appel à deux opérateurs selon le type de relation sémantique existant entre les primitives lexicales du nombre oral présenté en entrée. Si la relation est de type additive (par exemple : «cent six» = «cent» + «six»), un opérateur de surécriture (#) doit être utilisé : (<100> + <6> active 100 # 6, ce qui donne 106 par la surécriture de la seconde séquence chiffrée sur les zéros de la première séquence chiffrée, en commençant par la droite). À l'inverse, lorsqu'on a affaire à une relation de type produit (par exemple : «six cents» = «six» × «cent»), un opérateur de concaténation (&) est utilisé («6» × «100» active 6 & 100, ce qui donne 600 par la juxtaposition des chiffres 6 et 00). Pour Power et Dal Martello, les erreurs commises par les enfants de 7 ans et consistant à écrire des zéros surnuméraires proviendraient d'un remplacement erroné de l'opération de surécriture (non maîtrisée) par l'opération de concaténation. Par exemple : /cent six/ qui correspond à «100» + «6» ferait erronément appel à l'opérateur de concaténation, ce qui donnerait 100 & 6, et donc 1006.

D'autres stratégies pourraient aussi conduire à l'apparition d'erreurs. En particulier, l'invention par l'enfant de nouvelles règles de surécriture, telles que, par exemple, «surécrire uniquement sur le zéro final»; de cette manière, «mille deux» correspondant à 1 000 # 2 donnerait 1002, ce qui est correct, mais «mille vingt-trois» correspondant à 1000 # 23 donnerait 10023, ce qui est faux. Ces explications identifient donc la cause des difficultés au niveau de la maîtrise de l'opérateur de surécriture correspondant aux relations additives.

Dans les travaux de Seron, Deloche et Noël (1991), l'observation d'erreurs essentiellement syntaxiques est répliquée. Toutefois, si les auteurs observent une majorité d'erreurs sur les relations additives, ils notent également des erreurs sur les relations multiplicatives (par exemple, /sept mille/ donne 71000, /huit cents/ donne 8100, ou encore, /septante mille/ donne 7000). En outre, comme les enfants sont testés à plusieurs reprises, un pattern d'évolution dans les types d'erreurs commises peut être décrit. Ainsi, les auteurs rapportent qu'au début de l'observation, certains enfants ne maîtrisent aucune règle de combinaison et transcodent chaque mot par la séquence en chiffres arabes correspondante : par exemple, /cent nonante/ est écrit 100 90 et /trois mille/, 3 1000. Les premières relations maîtrisées sont les relations produit entre une unité et un multiplicateur «cent» ou «mille» (unité-cent, UC : trois cents et unité-mille, UM : trois mille). Ensuite, les relations additives entre «cent» ou «mille» et une unité peuvent être transcodées (cent-unité, CU : cent trois, et mille-unité, MU : mille trois). Des erreurs particulières peuvent alors apparaître qui, selon les auteurs, proviendraient d'une application abusive à d'autres structures des règles apprises sur les formes CU, UC, MU et UM. Par exemple, les enfants qui maîtrisent les relations additives CU peuvent dériver sur cette base une règle de transcodage qu'ils appliqueraient aux autres structures additives avec cent (CD, CP) et produiraient alors des erreurs typiques baptisées erreurs «10 ×» (par exemple : /cent quinze/ serait transcodé 1015, /cent quarante/ serait transcodé 1040). La même observation est faite pour les enfants qui maîtrisent les transcodages MU et qui produisent alors des erreurs «100 ×» pour les autres structures additives avec «mille» (par exemple, /mille treize/ serait transcodé 10013, /mille soixante/ serait transcodé 10060). Dans le cas des relations multiplicatives, on observe des erreurs dites D00 et P00 chez les enfants

qui maîtrisent le transcodage des formes UM. En effet, ces enfants ont extrait une règle qui serait du style «pour transcoder une forme «xM», j'écris d'abord les chiffres correspondant au premier mot (U, D ou P) et j'ajoute des zéros pour obtenir un nombre en 4 chiffres (puisqu'il s'agit de milliers)». Suivant cette règle erronée, /vingt mille/ serait transcodé 2000 et /quinze mille/ conduirait à produire 1500.

Pour Seron *et al.*, les erreurs observées dans les tâches de transcodage résulteraient donc essentiellement d'une généralisation abusive de règles correctement construites mais appliquées à des structures pour lesquelles elles ne sont pas adéquates.

LECTURE DE NOMBRES ÉCRITS EN CHIFFRES

En ce qui concerne le transcodage inverse, soit la lecture (en langue naturelle) à voix haute de nombres écrits en numération arabe, on note à nouveau une prépondérance des erreurs syntaxiques pour les nombres composés de plusieurs chiffres (Seron, Van Lil et Noël, 1995; Seron, Noël et Van der Elst, 1997; Power et Dal Martello, 1997). Il peut s'agir :

- d'une fragmentation du nombre à lire (par exemple : 834 est lu /quatre-vingts, trente-quatre/);
- de l'omission de certaines parties du nombre à lire (par exemple : 727 lu /septante-sept/);
- de l'utilisation d'un mauvais multiplicateur (par exemple : 404 lu /quatre mille quatre/)...

Le facteur principal rendant compte des erreurs de lecture est la longueur du nombre (cf. aussi Fayol, Barrouillet et Renaud, 1996), alors que la présence de zéros intercalaires (comme dans 309) ne constitue pas une source importante de difficultés. Enfin, on observe aussi une assez grande variabilité interindividuelle des performances en lecture. À nouveau, ces erreurs sont interprétées par Seron *et al.* (1995) comme résultant de stratégies développées par les enfants à partir des connaissances qu'ils ont acquises à la lecture de nombres plus simples et qu'ils appliquent, de manière inadéquate, aux formes nouvelles.

LES MODÈLES DE TRAITEMENT DU NOMBRE

Différents modèles du transcodage ont été proposés. Certains d'entre eux sont dits «sémantiques» parce qu'ils supposent que le nombre présenté en entrée génère une représentation sémantique de la quantité correspondante qui active ensuite les processus de production du nombre dans le code de sortie requis. Cette représentation sémantique pourrait être calquée sur la base 10 de notre système arabe (/mille cinq cent trois/ active la représentation sémantique $<1>.10^{exp3}$, $<5>.10^{exp2}$, $<3>.10^{exp0}$, McCloskey, Caramazza & Basili, 1985) ou bien s'inspirer de notre système numérique verbal combinant des relations additives et multiplicatives (/mille cinq cent trois/ active la représentation sémantique $<1000> + [<5> \times <100>] + <3>$, Power & Dal Martello, 1999).

D'autres modèles, au contraire, font l'hypothèse que les processus de transcoding se réduisent à un système de règles appliquées aux formes d'entrée sans nécessiter l'élaboration de la représentation sémantique du nombre. Par exemple, pour écrire un nombre sous dictée, Deloche et Seron (1987) supposent la mise en œuvre de quatre processus : (1) la segmentation de la forme d'entrée en vue d'isoler les primitives lexicales, (2) la catégorisation/identification de ces primitives lexicales en terme de classe lexicale d'appartenance (unité, dizaine, particulier, multiplicateur) et de position dans la classe (par exemple, /quatre/, /quarante/ et /quatorze/ occupent tous la 4^e position mais, respectivement, dans la classe des unités, dizaines et particuliers); (3) le transcoding qui consiste en la mise en œuvre d'une série de règles activées à partir des informations lexicales issues de l'étape deux et (4), un processus de production des chiffres correspondants aux spécifications codées à l'issue de l'étape trois.

La plupart de ces modèles (McCloskey et coll. 1985; Deloche et Seron, 1987) proviennent des travaux de la neuropsychologie de l'adulte et décrivent donc un système mature. Très récemment, Barrouillet, Camos, Perruchet et Seron (2004) ont proposé un modèle visant à rendre compte des changements développementaux. Celui-ci (ADAPT pour A Developmental Asemantic and Procedural Transcoding) s'inspire clairement du modèle de Deloche et Seron et suppose des processus d'encodage de la forme d'entrée, de segmentation, des règles de transcoding et la production de la séquence des chiffres. Toutefois, le processus de segmentation est supposé évolutif. Ainsi, au départ, chaque unité est constituée d'un seul mot. Au cours de l'apprentissage, les groupes de primitives lexicales qui sont fréquemment perçues en succession temporelle (par exemple, quatre-vingts, soixante-dix, dix-sept et d'autres structures dizaine-unité) donnent lieu à la formation de nouvelles unités représentationnelles qui sont alors traitées en globalité. Les procédures de transcoding sont également supposées évoluer : certaines sont créées, d'autres deviennent obsolètes. Les nouvelles règles de transcoding seraient créées par analogie entre ce que l'enfant connaît déjà et ce qu'il a à transcoder. Inversement, certaines règles disparaîtraient parce qu'elles ne sont plus utilisées. En effet, Barrouillet et coll. supposent que toute application d'un algorithme de transcoding conduit à associer en mémoire à long terme, la forme (verbale) d'entrée avec la forme produite (la séquence de chiffres), ou bien, le cas échéant, à renforcer l'association préexistante. Par conséquent, les formes verbales fréquemment transcodées seraient fortement associées à la forme chiffrée correspondante et une simple récupération en mémoire de cette forme pourrait avoir lieu, sans activation des procédures de transcoding autrefois nécessaires. Pour soutenir leur proposition théorique, les auteurs rapportent notamment que le taux d'erreurs de transcoding observé dans un large échantillon d'enfants de 2^e et 3^e année (ou CE1 et CE2) sur des nombres de 2 à 4 chiffres est davantage corrélé avec le nombre de procédures de transcoding requises suivant leur modèle ($r=.90$) qu'avec le nombre de procédures de concaténation et de surécriture prévues par le modèle de Power et Dal Martello ($r=.74$).

Le débat entre transcoding sémantique ou asémantique n'est pas résolu (cf. Seron & Noël, 1995). Les preuves les plus fortes en faveur de l'existence de mécanismes asémantiques du transcoding proviennent de la description de patients avec acalculie acquise qui sont capables de comprendre et de produire des nombres mais pas de transcoder correctement les nombres. Le profil inverse, soit, une bonne performance en transcoding malgré un déficit en compréhension et en production de nombres, n'a pas encore été rapporté. Chez l'enfant, la seule tentative pour éclairer ce débat vient de Jarlegan, Fayol et Barrouillet (1996). Ces auteurs ont demandé à plus de 200 enfants de 2^e primaire (ou CE1) de transcoder des nombres dans trois codes : le code en chiffres arabes, le code

verbal
l'unité
transc
mots-
76 %
donne
col.,
ment
que c
exem
séma

Ce
des é
dans
enfa
ment
des t
la gr
nom
exen
vale
rité
prov
arab

U
arat
corr
les
tion
imp

E

les
chit

T

tou
étu
effe
leu
à c
Do

verbal écrit et un code analogique en base 10 (comprenant des petits cubes représentant l'unité, des réglettes de 10 cubes et des plaques de 10x10 cubes). Ils observent que les transcodages mots-chiffres ne sont pas équivalents à la composition des transcodages mots-cubes et cubes-chiffres. Par exemple, le transcodage chiffres-mots donne lieu à 76 % de réponses correctes alors que le transcodage chiffres-cubes et cubes-mots donnent respectivement lieu à 81 % et 65 % de réponses correctes. Suivant Jarlegan et col., ces résultats suggèrent que le transcodage mots-chiffres ne passe pas nécessairement par l'activation d'une représentation sémantique du nombre. Notons néanmoins que cette conclusion ne tient pas compte des éventuelles erreurs, de dénombrement par exemple, liées spécifiquement au matériel cubes et qu'elle suppose que la représentation sémantique utilisée par l'enfant est une représentation en base 10.

Ces architectures cognitives, et en particulier, les modèles distinguant clairement des étapes de compréhension et de production des nombres, ont permis d'avancer dans l'identification de la localisation fonctionnelle des difficultés de transcodage des enfants. Par exemple, Seron et Fayol (1994) ont cherché à identifier l'étape de traitement responsable des erreurs d'écriture sous dictée d'enfants de 7 ans en contrastant des tâches portant sur la compréhension des nombres oraux (par exemple : comparer la grandeur de deux nombres oraux, représenter par une série de jetons la valeur d'un nombre oral) et d'autres exigeant la production de nombres dans le code arabe (par exemple : écrire en chiffres la quantité exprimée par une série de jetons de différentes valeurs). Les résultats obtenus à ces deux types de tâches montrent une nette supériorité pour les premières. Les erreurs d'écriture sous dictée des nombres arabes proviendraient donc d'une difficulté au niveau du système de production dans le code arabe plutôt que d'une incompréhension des nombres verbaux présentés oralement.

Une même démarche a été entreprise pour la lecture des nombres en numération arabe par Seron, Noël et Van der Elst (1997). Ces auteurs montrent l'existence de corrélations élevées entre la tâche de transcodage et la performance des enfants dans les tâches de compréhension des nombres écrits dans le système arabe et de production des nombres parlés en langue naturelle. Toutefois, la première est plus importante encore que la seconde.

En résumé, le transcodage exigerait la maîtrise des codes source et de sortie. Mais les difficultés de transcodage semblent davantage liées à la non-maîtrise du code chiffré (tant à la source qu'à la sortie) plutôt qu'à celle du code verbal oral.

Toutefois, si cette tendance générale se dégage des études de groupes d'enfants tout-venant, elle ne peut s'appliquer à chaque cas individuel. En particulier, plusieurs études ont montré un profil différent chez les enfants dysphasiques. Pour eux, en effet, la maîtrise du code arabe semble plus aisée que celle du code verbal oral. Ainsi, leurs performances en comparaison ou en lecture de nombres arabes sont supérieures à ce qui est attendu sur base de leur niveau langagier (Donlan, Bishop & Hitch, 1998; Donlan, Gourlay, 1999, Fazio, 1996).

INFLUENCE DE LA STRUCTURE DE LA LANGUE SUR LE TRANSCODAGE

Si le code des chiffres arabes est largement répandu (et, en tous cas, utilisé très largement en Occident), les langues orales sont, elles, très diversifiées et peuvent

présenter des particularités intéressantes sur le plan du transcodage. Par exemple, les belges francophones disposent d'étiquettes spécifiques pour dénommer le 70 (septante) et le 90 (nonante) mais les Français utilisent des combinaisons de primitives pour exprimer ces deux dizaines, respectivement, «soixante-dix» et «quatre-vingt-dix». Seron et Fayol (1994) se sont intéressés à ces différences et à leur impact éventuel sur l'apprentissage du transcodage. Ils ont montré qu'en 2^e primaire (ou CE1), les Français produisent typiquement plus d'erreurs que les Belges dans la dictée de nombres arabes incluant les dizaines 70 (par exemple, «soixante-dix-huit» écrit 6018 ou 618) ou 90 (par exemple, «quatre-vingt-dix-sept» écrit 42017 ou 4217 ou 817). En revanche, la dizaine 80 qui, dans les deux communautés se dénomme «quatre-vingt», donne lieu à des erreurs similaires dans les deux groupes (par exemple, «quatre-vingt-deux» écrit 4202 ou 422). Par ailleurs, les Français produisent plus d'erreurs que les Belges lorsqu'il s'agit de sélectionner les jetons (de valeur un ou dix) correspondant à un nombre énoncé à voix haute, si ceux-ci impliquent les dizaines complexes 70 ou 90. Par exemple, en réponse à «soixante-dix-neuf», ils choisissent 7 jetons de dix et 19 jetons de un ou bien encore, 6 jetons de dix et 9 jetons de un. En résumé, la structure complexe de ces dizaines entraîne, chez les jeunes écoliers français, une difficulté de compréhension de ces formes verbales se répercutant sur le transcodage.

Une autre étude de comparaison inter-langues a été conduite par Lochy (2003) sur des enfants belges et autrichiens. L'intérêt de cette recherche portait sur le fait que les enfants belges francophones énoncent, en langage parlé, le mot de la dizaine puis celui de l'unité alors que les autrichiens germanophones énoncent le mot de l'unité avant celui de la dizaine. Lochy a ainsi observé qu'en début d'apprentissage (1^{re} année ou CP), les écoliers autrichiens produisaient plus d'erreurs sur les structures DU (dizaine-unité) que les francophones et qu'un grand nombre d'entre elles correspondaient à des erreurs d'inversion (devant /fünfundvierzig/, littéralement, «cinq et quarante», ils produisaient 54 au lieu de 45). Par ailleurs, beaucoup de ces enfants adoptent une stratégie particulière suivant laquelle ils commencent à écrire le chiffre de l'unité à droite, puis le chiffre de la dizaine à gauche. Cette tactique leur permet de transcoder directement la première primitive lexicale qu'ils entendent (en l'occurrence, l'unité) plutôt que de la maintenir en mémoire de travail, écouter la seconde primitive lexicale (la dizaine), la transcoder et puis seulement produire le chiffre correspondant à l'unité. Cette stratégie permet donc un allègement de la mémoire de travail. Toutefois, son utilisation abusive conduit à des erreurs. Ainsi, lorsque des paires d'unités (par exemple, cinq – trois) sont dictées à ces enfants, ils les écrivent dans le sens inverse de ce qui est attendu (3 5). D'autre part, en 2^e année (CE1), alors que les erreurs d'inversion sur les structures DU ont quasi toutes disparu, d'autres erreurs d'inversion émergent sur les nombres à trois chiffres : «cinq cents», par exemple, est transcodé 105 (ce qui est très rare chez les enfants belges). Selon Lochy, ce type d'erreurs pourrait refléter la généralisation abusive d'une procédure adaptée pour l'écriture des nombres DU à celle des nombres UC.

DIFFICULTÉS DANS LA MAÎTRISE DU TRANSCODAGE

Certains enfants (ou adolescents, cf. Sokol, Macaruso et Gollan, 1994) cependant, ne parviennent pas à acquérir les habiletés de transcodage dans des délais normaux. Ainsi, Paul, 11 ans, (Temple, 1989) génère des nombres qui respectent le gabarit

attent
à pro
noml
termi
table

Er
synta
errei
quen
parti
sembl
prod
orau
l'hy
cultu
juste
non
C à
adéc
pass
de r
une
cell
pro
(pa
à la
en

Éc

Lir

É
à

É
le

attendu, mais il sélectionne de manière erronée les chiffres ou les numéraux verbaux à produire. Par exemple, /neuf cent vingt-et-un/ conduit bien à la production d'un nombre à trois chiffres, mais un «8» est écrit à la place d'un «9» et le nombre se termine par le chiffre «2» au lieu du «1» attendu (pour des exemples d'erreurs, cf. tableau 6.IV). En d'autres termes, Paul produit majoritairement des erreurs lexicales.

En revanche, CM, 13 ans (Sullivan, Macaruso & Sokol, 1996), produit des erreurs syntaxiques qui modifient largement le gabarit du nombre (cf. tableau 6.V). Ces erreurs apparaissent dans tous les transcodages mais, surtout dans ceux qui impliquent la production de nombres arabes sous dictée (54 % de réponses correctes) ou à partir de nombres verbaux écrits (45 % de réponses correctes). Ces difficultés ne semblent pas provenir d'une mauvaise compréhension des nombres puisqu'il ne produit aucune erreur dans la comparaison de grandeur de deux nombres arabes, oraux ou verbaux écrits. Sur la base de ces observations, Sullivan et col. émettent l'hypothèse d'un déficit de production des nombres arabes subséquent à une difficulté dans la construction du cadre syntaxique. La rééducation proposée vise donc justement à fournir à l'enfant un cadre syntaxique pour guider sa production de nombres arabes (par exemple, —_{UM} —_C —_D —_U où UM correspond à Unité de Mille, C à Centaine, D à Dizaine et U à Unité); l'inciter ensuite à générer lui-même le cadre adéquat avant de produire un nombre et, pour finir, écrire le nombre directement sans passer par le cadre en question. La rééducation portait uniquement sur le transcodage de nombres arabes à partir de nombres verbaux écrits et a rapidement donné lieu à une nette amélioration (passage de 45 % à 82 % de réponses correctes). En outre, celle-ci s'est généralisée à un transcodage non travaillé mais qui implique aussi la production de nombres arabes, à savoir, l'écriture de nombres arabes sous dictée (passage de 53 à 84 % de réponses correctes). Isoler le composant fonctionnel qui est à la source des erreurs de transcodage de l'enfant est donc une démarche primordiale en vue de la mise en place d'une rééducation adaptée et efficace.

Tableau 6-IV. — *Cas Paul*

Écrire en chiffres arabes un nombre sous dictée en langue naturelle	/deux/ écrit 3 /neuf/ écrit 8 /vingt-et-un/ écrit 28 /nonante-neuf/ écrit 91 /sept cent onze/ écrit 511 /neuf cent vingt-et-un/ écrit 822
Lire à voix haute des nombres écrits en chiffres arabes	1 lu /neuf/ 85 lu /quatre-vingt-deux/ 711 lu /sept cent dix-huit/ 153 lu /cent vingt-trois/ 592 lu /deux cent nonante-deux/

Tableau 6-V. — *Cas CM*

Écrire en chiffres arabes un nombre correspondant à un numéral écrit	« trois mille cinq cent deux » écrit 3.0502 « neuf cent deux mille septante » écrit 92.070 « sept cent mille quatre-vingt-trois » écrit 7.0083
Écrire en chiffres arabes un nombre sous dictée en langue naturelle	/neuf mille neuf cent trente/ écrit 9.9030 /cinquante mille nonante/ écrit 50.90 /soixante-six mille cent cinq/ écrit 66.15 /cinq cent mille un/ écrit 5.0061

CONCLUSION

Le transcodage numérique est un processus qui requiert un apprentissage de plusieurs années. Généralement, celui-ci s'étale entre l'âge de 5 ans (environ) jusque vers 9 ans. La lecture et l'écriture des nombres en chiffres arabes ne sont pas de simples cas particuliers des processus plus généraux de l'écriture et de la lecture des mots. Ils mettent en jeu des processus spécifiques. Tout transcodage demande une maîtrise minimale des codes source et de sortie. Dans le développement normal, les enfants manipulent plus rapidement le code verbal oral que le code en chiffres arabes. Cependant, des différences individuelles peuvent apparaître à ce niveau. En particulier, les petits dysphasiques montrent un niveau de maîtrise des nombres arabes supérieur à ce qui est attendu sur la base de leur niveau langagier. Enfin, des difficultés particulières dans la gestion des processus de transcodage peuvent être observées chez les élèves. Tenir compte de cet aspect dans l'analyse des difficultés d'apprentissage mathématique d'un enfant est donc incontournable.